



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Tesi di Laurea in Fisica

Ricostruzione di tracce in un telescopio Čerenkov sottomarino per neutrini astrofisici di alta energia

**Facoltà di
Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali**

Candidato

Dario Benvenuti

matr. 690486

Relatore

Antonio Capone

Correlatore

Fabrizio Lucarelli

A.A. 2006/2007

Ringraziamenti

Desidero ringraziare il Professor Antonio Capone per la disponibilità, i preziosi consigli e gli stimolanti incoraggiamenti; Fabrizio Lucarelli e Tommaso Chiarusi per l'impegno profuso nell'indispensabile aiuto offertomi per portare a termine questo lavoro; la collaborazione NEMO, in particolare il gruppo di Roma.

Ringrazio anche mia moglie Olivia, per la pazienza mostrata nei weekend e nelle serate sacrificati per lo studio, e i miei genitori che da sempre mi sostengono nello studio e nella vita.

Un ringraziamento è dovuto anche alla azienda dove lavoro, Elettronica S.p.A., che mi ha agevolato nel portare a termine i miei studi.

Indice

Introduzione.....	4
Cap. 1 Raggi cosmici	6
1.1 La scoperta dei raggi cosmici.	6
1.2 Spettro dei raggi cosmici	7
1.3 Composizione dei raggi cosmici	10
1.4 Generazione dei raggi cosmici	12
1.5 Meccanismi di accelerazione.....	14
1.6 Sciami atmosferici	16
1.7 Sorgenti astrofisiche di neutrini.....	18
Cap. 2 I telescopi a neutrini	24
2.1 Schema di principio	24
2.2 Interazione dei neutrini con la materia	26
2.3 Propagazione dei muoni	29
2.4 Effetto Čerenkov	32
2.5 Fotomoltiplicatori	34
2.6 Efficienza di rivelazione.....	36
2.7 Telescopi a neutrini nel Mediterraneo	37
2.7.1 ANTARES	37
2.7.2 NEMO	39
2.8 Altri Esperimenti	42
2.9 Eventi attesi e fondo	44
Cap. 3 Ricostruzione delle tracce di muoni con algoritmi standard	48
3.1 Generazione delle tracce: OPNEMO.....	48
3.2 Ricostruzione geometrica degli eventi	51
3.3 Filtri e trigger.....	60
3.4 Algoritmi di minimizzazione e pre-fit	62
3.5 Programma di Ricostruzione	63
3.6 Risultati della ricostruzione OPNEMO	66
Cap. 4 Ricostruzione delle tracce con reti neurali	79
4.1 Introduzione alle Reti Neurali	79
4.1.1 Neuroni	79
4.1.2 Elaborazione neurale	80
4.1.3 Funzioni di attivazione	82
4.1.4 Architetture di reti neurali	83
4.1.5 Metodologie di apprendimento.....	85
4.1.6 Applicazioni	87
4.2 Ricostruzione delle tracce di muoni con reti neurali	87
4.3 Risultati della ricostruzione con reti neurali.....	89
Cap. 5 Ricostruzione delle tracce con algoritmi genetici.....	94
5.1 Introduzione agli Algoritmi Genetici	94
5.1.1 Teoria: perché funziona? Iperpiani negli spazi di ricerca.....	98
5.2 Applicazione per la ricostruzione delle tracce.....	105
5.3 Implementazione della ricostruzione con Algoritmi Genetici.....	107
Cap. 6 Conclusioni.....	119
Appendice.....	121
Bibliografia.....	139

Introduzione

L'astronomia e l'astrofisica sono nate con l'osservazione della radiazione elettromagnetica, inizialmente per ovvie ragioni nella banda del visibile, perché i fotoni essendo neutri viaggiano in linea retta¹ conservando l'informazione della direzione della loro sorgente. Negli anni recenti esperimenti come CGRO e INTEGRAL hanno disegnato mappe del cielo dettagliate delle emissioni di raggi γ , specialmente per le energie più alte. Ma il forte assorbimento dei fotoni dalla materia interstellare, specialmente nelle immediate vicinanze di oggetti come i Nuclei Galattici Attivi (AGN), e l'interazione dei fotoni di alta energia con il fondo intergalattico di fotoni infrarossi, limitano l'orizzonte di visibilità dei raggi γ in energia e in distanza (cfr Figura 1).

Esiste la possibilità di estendere l'osservazione degli eventi di alta energia attraverso la rivelazione dei neutrini. A differenza delle particelle cariche, deviate dai campi magnetici, i neutrini non perdono l'informazione della loro direzione di provenienza e non vengono assorbiti come i fotoni γ .

L'astrofisica con i neutrini può fornire risposte a problemi aperti dell'astrofisica delle alte energie; innanzi tutto può confermare i modelli e i siti di accelerazione dei raggi cosmici, che non possono essere identificati direttamente proprio a causa del rimescolamento delle direzioni ad opera dei campi magnetici galattici ed intergalattici; può gettare luce sulla fisica degli eventi più estremi dell'universo, come gli AGN e i Lampi di Raggi Gamma (GRB), può risolvere il problema della materia oscura se si riveleranno i decadimenti delle Particelle Massive Debolmente Interagenti (WIMPs).

¹ A parte le deformazioni spaziotemporali nelle vicinanze di corpi massivi che hanno dimostrato la teoria di Einstein con l'osservazione della deviazione della luce di una stella in direzione del sole, durante l'eclissi nel 1919, e che causano gli effetti lente nei dintorni di grandi accentramenti di materia (buchi neri) nello spazio

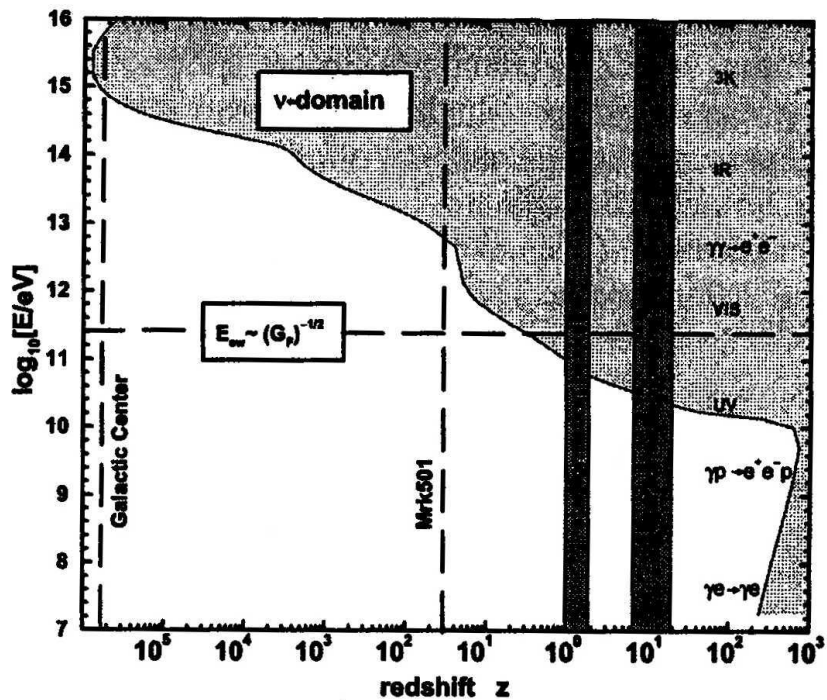


Figura 1 – Orizzonte di visibilità dei raggi γ e dei neutrini in funzione di energia e distanza (redshift) [2].

Un metodo di rivelazione dei neutrini e della loro direzione di provenienza è stato proposto da Markov nel 1961 [1]. I leptoni carichi (muoni) generati per interazione debole di corrente carica da neutrini emettono luce per effetto Čerenkov. Un sistema di fotomoltiplicatori viene utilizzato per misurare il numero di fotoni ed il loro tempo di arrivo, e permette di ricostruire la traccia del muone, e del neutrino.

Per far questo occorre posizionare l'apparato di rivelazione nelle profondità del mare (o dei ghiacci) dove il buio consenta di individuare i pochi fotoni di interesse, e in modo che gli altri raggi cosmici vengano filtrati. Nonostante questi accorgimenti i muoni che sicuramente provengono da un neutrino sono quelli provenienti dal basso: la Terra scherma efficacemente i raggi cosmici, a parte i neutrini, che hanno una cross section estremamente bassa.

La bassa probabilità di interazione fa sì che per rivelare un numero ragionevole di neutrini astrofisici sia necessario creare dei rivelatori di dimensioni enormi, come si vedrà dell'ordine del km^3 .

In questa tesi sono presentati nuovi metodi di ricostruzione delle tracce di muoni, basati sugli algoritmi genetici e sulle reti neurali, e i risultati sono confrontati con gli algoritmi già utilizzati nella collaborazione NEMO.